

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matej Stipeljković

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Matej Stipeljković

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojem mentoru, profesoru Nevenu Duiću, asistentu Hrvoju Dorotiću uz čiju sam svesrdnu pomoć izradio ovaj rad te asistentu Tomislavu Novoselu koji mi je dao nekoliko savjeta pri izradi proračuna. Također se zahvaljujem djelatnicima REGEA-e, osobito Adamu Babiću, koji su mi omogućili pristup većini ulaznih podataka za zgrade Zagrebačke županije i s kojima sam radio na programu Baza mjera energetske učinkovitosti.

Matej Stipeljković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matej Stipeljković**

Mat. br.: 0035190767

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Zgrade gotovo nulte energije – kalkulator isplativosti investicije u
cjelovitu energetska obnovu**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**Near-zero energy buildings – deep energy renovation feasibility
calculator**

Opis zadatka:

Sektor zgradarstva u Europskoj uniji je zaslužan za 40% ukupne potrošnje finalne energije i 36% ukupnih emisija ugljikovog dioksida. Prema EU Direktivi o energetske učinkovitosti zgrada, sve nove zgrade od kraja 2020. godine moraju biti gotovo nulte energije (javne od kraja 2018. godine). Radi se o zgradama koje su energetske visokoučinkovite, a niska razina potrošnje energije je uvelike zadovoljena pomoću obnovljivih izvora energije. Cilj ovoga rada je izrada baze, koja će na jednostavan način prikazati potrebne mjere i troškove kako bi se određena zgrada dovela do razine zgrade gotovo nulte energije.

U sklopu ovoga rada će se:

1. Izraditi detaljan pregled literature o zgradama gotovo nulte energije u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj, s naglaskom na javne zgrade;
2. Opisati baza mjera: prikaz ulaznih i izlaznih podataka te kriterija za zgrade gotovo nulte energije;
3. Izraditi troškovnik mjera povećanja energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije;
4. Izraditi algoritam za izračun i optimizaciju troškovno-optimalnog postizanja kategorije zgrade gotovo nulte energije;
5. Validirati model kroz određivanje troškovno-optimalnog rješenja za postizanje kategorije zgrade gotovo nulte energije za javne zgrade u Zagrebačkoj županiji.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Energetska učinkovitost i pojam zgrade gotovo nulte energije	2
2. PREGLED LEGISLATIVE O ZGRADAMA GOTOVO NULTE ENERGIJE.....	4
2.1. Legislativa Europske unije.....	4
2.2. Legislativa Republike Hrvatske	5
3. BAZA MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI REGIONALNE ENERGETSKE AGENCIJE SJEVEROZAPADNE HRVATSKE	8
3.1. Opis Baze mjera–mogućnosti programa	8
3.2. Pregled i opis ulaznih podataka	9
3.3. Pregled i opis izlaznih podataka,	10
4. METODA PRORAČUNA.....	12
4.1. Prikaz proračuna za pojedine mjere	12
5. PRIKAZ CIJENA ZA POJEDINE MJERE ENERGETSKE OBNOVE	31
6. IZRAČUN I OPTIMIZACIJA POSTIZANJA KATEGORIJE ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE ZA ZAGREBAČKU ŽUPANIJU	34
7. VALIDACIJA MODELA NA PRIMJERU JAVNIH ZGRADA ZAGREBAČKE ŽUPANIJE.....	36
7.1. Rezultati mjera obnove za zgrade javnog sektora Zagrebačke županije.....	36
8. ZAKLJUČAK.....	46
ZAHVALA.....	47
LITERATURA.....	48
PRILOZI.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1. Udio potrošnje energije po sektorima [1]	2
Slika 2. Pojednostavljena shema rada BMEU	8
Slika 3. Prikaz mjesečne proizvodnje struje iz 1 kWp instaliranih fotonaponskih modula u Zagrebačkoj županiji [6]	24
Slika 4. Prikaz krivulja proizvodnje i potrošnje za period od 25.3.2014. 04:00 do 5.5.2014. 21:00 na primjeru OŠ Slakva Kolar (instalirana snaga 34,7 kW)	25
Slika 5. Aproksimirana krivulja faktora kupnje električne energije	26
Slika 6. Aproksimirana krivulja faktora kupnje električne energije	27
Slika 7. Specifične cijene kotla na biomasu kao funkcija snage	32
Slika 8. Grafički prikaz cjelobrojne linearne optimizacije [10]	35
Slika 9. Prikaz udjela prosječne uštede primarne energije pojedinih mjera u ukupnoj uštedi za dvadeset zgrada	36
Slika 10. Prikaz udjela prosječne uštede potrebne toplinske energije pojedinih mjera u ukupnoj uštedi za dvadeset zgrada	37
Slika 11. Prikaz prosječnog JPP-a pojedinih mjera.....	37
Slika 12. Predviđeni rezultati provedenih mjera	41
Slika 13. OŠ Slavka Kolar [12]	42
Slika 14. OŠ Bedenica [13]	44

POPIS TABLICA

Tablica 1 . Najveće dopuštene vrijednosti primarne energije za NZEB grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili više [5].....	6
Tablica 2. Najveće dopuštene vrijednosti potrebne toplinske energije za NZEB grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili više [5].....	7
Tablica 3. Prikaz nekih ulaznih podataka potrebnih za proračun	12
Tablica 4. Cijene energenata	31
Tablica 5. Cijena obnove krova/stropa.....	31
Tablica 6. Cijena obnove vanjskog zida i zamjene vanjske stolarije	32
Tablica 7. Cijena zamjene sijalica, ugradnje štednih perlatora, ugradnje solarnih kolektora i fotonaponskog sustava	33
Tablica 8. Prikaz predloženih mjera za pojedinu zgradu	38
Tablica 9. Predviđeno smanjenje potrošnje primarne energije i potrebne toplinske energije i granične vrijednosti istih	39
Tablica 10. Rezultati provedenih mjera za OŠ Slavka Kolara	43
Tablica 11. Rezultati provedenih mjera za OŠ Bedenica	45

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	Površina izolacije
A_{kr}	m^2	Površina krova/stropa
A_{sol}	m^2	Potrebna površina solarnih kolektora
A_{st}	m^2	Površina stolarije
A_{zid}	m^2	Površina vanjskog zida
c	kn/kWh	Jedinična cijena otkupa električne energije
c_l	kn/kWh	Jedinična cijena električne energije
$c_{e,n}$	kn/kWh	Cijena novog energenta za grijanje
$c_{e,s}$	kn/kWh	Cijena starog energenta za grijanje
c_i	kn/ m^2	Prosječna cijena izolacije
c_{LED}	kn/kWh	Cijena LED rasvjete
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet zraka
c_s	kn/kom	Cijena perlatora
c_v	kn/ m^3	Cijena vode
c_w	kJ/kgK	Specifični toplinski kapacitet vode
e_{CO2}	kg/god	Godišnje smanjenje emisije CO ₂
ee	kg/kWh	Koeficijent emisije CO ₂ određenog energenta
E_{el}	kWh	Količina dobivene električne energije
E_{potr}	kWh	Godišnja potrebna električna energija
$E_{potr,topl}$	kWh	Godišnja potrebna toplinska energija
F	kW	Snaga postojećih fluo T8 sijalica
f_k	-	Faktor kupnje električne energije
f_{pr}	-	Faktor primarne energije
f_p	-	Faktor prodaje električne energije
G_{inf}	W/K	Ventilacijski gubitak zbog infiltracije
G_p	kWh/ m^2	Godišnja ušteda po površini
G_t	W/K	Zbrojeni toplinski gubici u objektu
G_{tr}	W/K	Transmisijski gubitak zida
G_{trans}	W/K	Transmisijski gubitak stolarije

G_{uk}	W/K	Ukupni gubici zgrade
h	h	Broj radnih sati godišnje
h_k	h	Broj radnih sati kotla godišnje
h_g	kW	Snaga postojećih živinih sijalica
h_s	h	Broj radnih sati sijalica
i	kWh/m ²	Omjer potrebne energije za grijanje PTV i površine solara
Inv	kn	Investicija
K	m ³ /god	Količina vode
K_{iz}	W/mK	Koeficijent toplinske izolacije stropa/krova
l_{krov}	cm	Debljina izolacije krova
l_{zid}	cm	Debljina izolacije zida
L_m	lm	Potrebni svjetlosni tok
n	h ⁻¹	Broj izmjena zbog infiltracije u satu
n_p	h ⁻¹	Broj izmjena zbog infiltracije u satu nakon zamjene stolarije
P_{in}	kW	Instalirana snaga fotonaponskih modula
P_{kot}	kW	Potrebna snaga kotla
P_{LED}	kW	Potrebna snaga LED rasvjete
P_s	kWh	Godišnja proizvodnja struje iz 1kWp instaliranog fotonapona
P_{sl}	%	Postotak vode koji se koristi na slavinama
P_z	kW	Snaga zastarjele rasvjete
PTV	m ³	količina potrebne tople vode
$Q_{gr,pot}$	kWh	Potrebna topl. energija nakon sanacije
Q_{inf}	kWh	Ventilacijski gubitak energije zbog infiltracije
Q_{potr}	kWh	Teoretska godišnja potrebna energije
$Q_{potr,w}$	kWh	Potrebna energija za grijanje vode
Q_{pu}	kWh	Ušteda primarne energije
Q_u	kWh	Ušteda energije
Q_{uinf}	kWh	Ušteda energije zbog smanjenja infiltracije
Q_{utrans}	kWh	Ušteda energije zbog smanjenja transmisije
Q_{vz}	kWh	Gubitak topline kroz zid
Q_{vzt}	kWh	Teoretski gubitak topline kroz zid
R_{plu}	m ² K/W	Unturašnji plošni otpor prijelaza topline

R_{plv}	m^2K/W	Vanjski plošni otpor prijelaza topline
SI_f	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost fluo T8 rasvjete
SI_{hg}	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost živinih sijalica
SI_{LED}	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost LED rasvjete
SI_z	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost sijalica sa žarnom niti
Sl	kom	Broj slavina
t_2	$^{\circ}C$	Temperature na koju se grije voda
t_1	$^{\circ}C$	Početna temperatura vode
tu	$^{\circ}C$	Predviđena unutrašnja temperatura
tv	$^{\circ}C$	Prosječna vanjska temperatura u mjesecima u kojima se grije prostor
u	-	Faktor umanjenja zbog viška u ljetnim mjesecima
U	kn	Ušteda
U_i	W/mK	Koeficijent toplinske izolacije zida
Up	%	Prosječna ušteda vode zbog korištenja perlatora
V_{gr}	m^3	Volumen grijanog zraka
x	kW/m^2	Omjer instalirane snage i površine krova
y	-	Omjer površine solara i korisne površine
z	-	Postotak topline koji se može iskoristiti
Z	kW	Snaga postojećih sijalica sa žarnom niti
λ_n	W/m^2K	Novi koeficijent prolaska topline vanjske stolarije
λ_{nov}	W/m^2K	Novi koeficijent prolaska topline krov/stropa
λ_{sz}	W/m^2K	Stari koeficijent prolaska topline vanjske stolarije
λ_{st}	W/m^2K	Stari koeficijent prolaska topline krova/stropa
λ_{vz1}	W/m^2K	Stari koeficijent prolaska topline vanjskog zida
λ_{vz2}	W/m^2K	Novi koeficijent prolaska topline vanjskog zida
ρ	kg/m^3	Gustoća zraka
ρ_w	kg/m^3	Gustoća vode

POPIS KRATICA

Naziv kratice	Puni naziv
BMEU	Baza mjera energetske učinkovitosti
CO ₂	Ugljikov dioksid
EU	Europska unija
JPP	Jednostavni period povrata
LED	Ligh emitting diode
NZEB	Zgrada gotovo nulte energije
PVC	Polivinil-klorid
REGEA	Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske

SAŽETAK

Uslijed sve većeg broja zgrada gotovo nulte energije (NZEB, *engl. near zero energy building*), pojavila se potreba za alatima koji će omogućiti odabir ekonomski isplativih mjera kako bi određena zgrada zadovoljila NZEB kriterije. U radu je prikazana metoda i postupak optimizacije odabira mjera energetske učinkovitosti, a kao primjer je odabrano dvadeset zgrada javnog sektora Zagrebačke županije. Postupak se temelji na optimalnom odabiru mjera energetske učinkovitosti, gdje je funkcija cilja minimalizirati jednostavni period povrata (JPP) ili ukupnu investiciju, pri čemu je potrebno ostvariti NZEB kriterije. Cilj je troškovno-optimalno obnoviti zgrade pomoću programa Baza mjera energetske učinkovitosti (BMEU) koji je napravljen u suradnji s Regionalnom energetsom agencijom sjeverozapadne Hrvatske (REGEA). Rezultat je pokazao kako se od 20 promatranih zgrada, samo 10% može dovesti do razine NZEB pomoću metoda koje se u praksi koriste. Za ostalih 90% je potrebno koristiti mjere učinkovitosti koje se u stvarnosti pokazuju neisplativima. Za potrebe proračuna je korišten Microsoft Office Excel, odnosno optimizacijski alat SOLVER.

Ključne riječi: energetska obnova, zgrade gotovo nulte energije, racionalna upotreba energije, obnovljivi izvori energije

SUMMARY

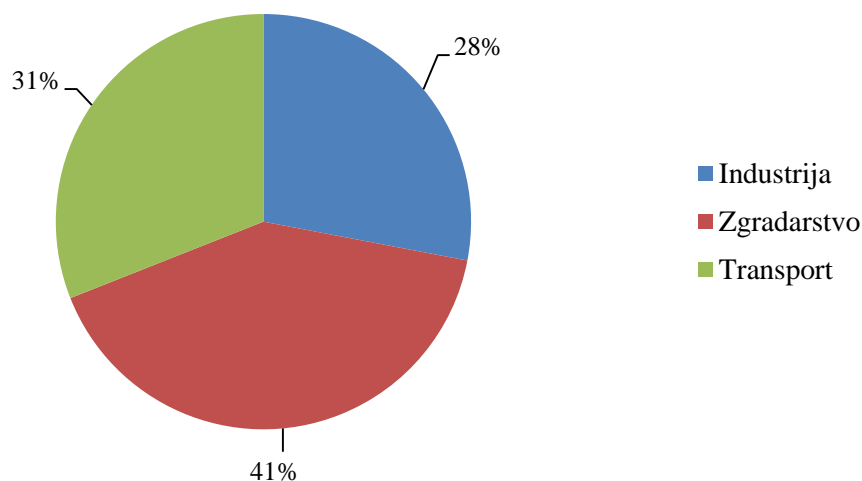
Due to the growing number of nearly zero energy buildings (NZEBs), a need for tools that will enable economically viable energy efficiency measures has emerged. This thesis presents the method and process of optimizing the selection of energy efficiency measures, and as an example, several public buildings of the Zagreb County have been selected. Optimization is based on the selection of energy efficiency measures, where the goal is to minimize a simple payback period or a total investment. The goal is to find the cost-optimal solution of building renovation measures by using the program named Energy efficiency measures base (BMEU), developed in cooperation with North-west Croatia regional energy agency (REGEA). The result has shown that only 10% of the 20 observed buildings can be renovated to the NZEB level by using the well-known energy efficiency measures. For other 90% of the buildings, it is necessary to use the measures which in reality have been shown economically unfeasible. Microsoft Office Excel and SOLVER optimization tool have been used for calculation and optimization processes.

Key words: building retrofit, near zero energy building, rational use of energy, renewable energy sources

1. UVOD

U 21. stoljeću neodrživi postupci proizvodnje toplinske i električne energije postaju izazov za većinu modernih država. Kao primarna energija se najčešće koriste fosilna goriva što ima vrlo štetne posljedice na okoliš. Kako bi se smanjio ekološki utjecaj energetskeg sektora nužna je promjena na području proizvodnje i potrošnje energije koja bi rezultirala smanjenjem potrošnje primarne energije i smanjenjem emisije štetnih plinova. Dok se ne pronađu novi, učinkovitiji načini iskorištavanja energije iz prirode, zadatak energetičara je pronaći način na koji će se uz minimalnu promjenu životnog standarda smanjiti potrošnja energije. Također je potrebno smanjiti cijenu proizvodnje energije iz obnovljivih izvora te je tako napraviti dostupnom svima. Sva češća upozorenja ekoloških stručnjaka o koncentraciji stakleničkih plinova u atmosferi, koji se u radu prikazuju kao ekvivalent emisije ugljikovog dioksida (CO₂), natjerali su vođe svjetskih država da hitno porade na smanjenju emisija stakleničkih plinova. Prema strategiji Europske Unije (EU) očekuje se smanjenje emisija stakleničkih plinova i ušteda energije od prosječno 20% do 2020. godine za države članice EU. Do 2030. cilj je smanjiti emisiju stakleničkih plinova za 40% ispod razine iz 1990. te povećati udio obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji do 27%. Veliki iskorak prema samoodrživosti napravljen je u Parizu, 12. prosinca 2015. godine kada je postignut Pariški sporazum čiji je cilj ograničenje prosječnog globalnog zatopljenja ispod 2°C. Kako prikazuje Slika 1., sektor zgradarstva je zaslužan za 41% potrošnje finalne energije, a emitira čak trećinu CO₂. Upravo u ovome sektoru postoji veliki potencijal za smanjenjem potrošnje energije, odnosno smanjenjem emisije stakleničkih plinova.

Udio potrošnje energije po sektorima (%)



Slika 1. Udio potrošnje energije po sektorima [1]

Kako bi se iskoristio postojeći potencijal, u EU su zadani visoki ciljevi, od 31.12.2020. godine sve novoizgrađene zgrade u EU trebaju imati gotovo nultu potrošnju energije, dok nove zgrade koje koriste javne vlasti od 31.12.2018. moraju također biti zgrada gotovo nulte energije (NZEB) [2].

1.1. Energetska učinkovitost i pojam zgrade gotovo nulte energije

Zgrada gotovo nulte energije jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva, a niska potreba za energijom trebala bi se u značajnoj mjeri pokrivati iz obnovljivih izvora. S obzirom na lokaciju i namjenu, takva zgrada troši manje primarne energije po jedinici površine i zahtjeva manje toplinske energije po jedinici površine nego je to određeno zakonom.

Uvjet zgrade gotovo nulte energije je moguće postići i nakon izgradnje objekta. Svaka zgrada se može prilagoditi putem određenih mjera povećanja energetske učinkovitosti, najčešće dodatnom izolacijom vanjske ovojnice i krovišta, vanjskom stolarijom s malim koeficijentom prolaska topline, zamjenom sustava grijanja sa sustavom na obnovljive izvore energije i slično. Provođenje mjera energetske učinkovitosti predstavlja izazov s pogleda investicijskih troškova i perioda povrata investicije.

Cilj provođenja mjera energetske učinkovitosti je smanjivanje potrebne količine energije na optimum, odnosno smanjiti potrošnju energije uz što manju investiciju i period povrata, ali pri tome zadržati razinu udobnosti. One se mogu poduzeti u zgradi na svim mjestima na kojima se koristi energija (rasvjetna tijela, perilice, sustavi za grijanje i hlađenje i sl.) te na svim mjestima na kojima postoje energetske gubici (tlo, krov, stolarija, zid, sustavi za grijanje i hlađenje i sl.). Usvajanjem i provedbom direktiva vezanih za NZEB znatno će se smanjiti potrošnja energije i emisije CO₂ [3].

2. PREGLED LEGISLATIVE O ZGRADAMA GOTOVO NULTE ENERGIJE

Zgrade gotovo nulte energije će u budućnosti imati sve veći udio u zgradarstvu jer su u posljednjih nekoliko godina postavljeni svi zakonodavni okviri potrebni za njihovu izgradnju.

Kao i veliki broj drugih zakona EU tako i legislativu o NZEB donose prvenstveno tijela EU, a zatim vlade i parlamenti država članica koje takvu legislativu prilagođavaju svojim uvjetima.

2.1 Legislativa Europske unije

Najvažnii dokument EU u kojem su određene mjere za smanjenje potrošnje energije u sektoru zgradarstva je „Direktiva 2012/27 Europskog parlamenta i vijeća“ o energetske učinkovitosti koja je donesena 25. listopada 2012. Ona sadrži izmjene direktive 2010/30/EU koja je također još uvijek na snazi. U njoj se navodi kako je nužno postići povećanje energetske učinkovitosti za 20% do 2020. što je u to vrijeme predstavljalo ambiciozan izazov za EU. Također se navodi kako je cilj prelazak na konkurentno niskougljično gospodarstvo do 2050. posebice putem smanjenja emisija stakleničkih plinova iz energetskog sektora. U njoj nadalje stoji kako je potrebno povećati stopu obnove zgrada jer upravo taj sektor ima najveći potencijal za uštedom energije. Svaka država članica sama određuje svoj nacionalni cilj, ali pri tom u obzir mora uzeti sljedeće:

- a) potrošnja energije u EU 2020. ne smije biti veća od 1.474 Mtoe primarne energije, odnosno 1.078 Mtoe krajnje energije
- b) mjere predviđene ovom Direktivom
- c) obvezna ušteda energije od 9% za devetu godinu primjene Direktive 2006/32/EZ, što se treba ostvariti putem energetske usluga i drugih mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti
- d) druge mjere za poticanje energetske učinkovitosti u državama članicama i na razini EU.

Također se u obzir mogu uzeti neke nacionalne okolnosti koje utječu na potrošnju primarne energije, kao što su razvoj i predviđanja bruto domaćeg proizvoda, promjene u izvozu i uvozu

energije, razvoj obnovljivih izvora energije, nuklearne energije te hvatanja i skladištenja ugljena [4]. Zgrade javnih tijela trebaju biti uzor za stambene zgrade pa je dogovoreno kako će se svaku godinu, od 1. siječnja 2014., 3% ukupne korisne površine obnoviti te će se tako ispuniti barem minimalni zahtjevi koje je odredila središnja vlast prema Direktivi 2010/31/EU. Stopa od 3% izračunava se na temelju ukupne korisne površine zgrada u vlasništvu središnje vlasti čija je ukupna korisna površina veća od 250 m² i koje ne ispunjavaju nacionalne minimalne zahtjeve energetske svojstava.

U ovoj direktivi su osim uputa za uštedu energije i ciljeva koji se zahtijevaju od država članica dane i metode kojima je potrebno mjeriti i računati uspješnost pojedine države, ali i sankcije koje čekaju neuspješne.

2.2 Legislativa Republike Hrvatske

Za područje Republike Hrvatske kriteriji za NZEB nalaze se u dokumentu „Tehnički propisi o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“ donesenom 25. studenoga 2015. Prema njemu sve nove zgrade od 31. prosinca 2020. moraju biti NZEB, a od 31. prosinca 2018. taj uvjet vrijedi sve nove zgrade koje kao vlasnici koriste tijela javne vlasti.

U Republici Hrvatskoj, NZEB se nazivaju zgrade kod kojih godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine zgrade ne prelazi vrijednosti koje prikazuje Tablica 1. te godišnja potrebna energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade ne prelazi dopuštenu vrijednost koju prikazuje Tablica 2. Granične vrijednosti za NZEB odnose se na:

- a) Godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²a)]
- b) Godišnju primarnu energiju po jedinici ploštine korisne površine zgrade E_{prim} [kWh/(m²a)], koja uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode

Hrvatske norme nisu iste za različite lokacije i namjenu zgrade. Lokacija je direktno povezana s vanjskom temperaturom zraka, stoga hladnija područja imaju niže kriterije vezane za potrošnju primarne energije. Razlika u namjeni zgrade se očituje u godišnjem broju radnih sati i predviđenoj unutarnjoj temperaturi zraka, stoga zgrade s većim brojem radnih sati i s većom predviđenom unutarnjom temperaturom zraka također imaju pravo na veću potrošnju primarne energije [5].

Tablica 1. prikazuje granične vrijednosti godišnje potrošnje primarne energije po kvadratnom metru korisne površine za NZEB. Maksimalna dopuštena vrijednost se mijenja ovisno o tome je li zgrada smještena u primorskoj ili kontinentalnoj Hrvatskoj i o tome za što se zgrada koristi. Vidljivo je kako zgrade u primorskoj Hrvatskoj imaju manje ili iste dopuštene vrijednosti jer je vanjska temperatura zraka viša nego u kontinentalnoj. Također je očito kako zgrade u kojima se rjeđe boravi i u kojima je potrebna niža unutrašnja temperatura imaju manje dopuštene vrijednosti.

Tablica 2. prikazuje najveću dopuštenu potrošnju potrebne toplinske energije po kvadratnom metru korisne površine za NZEB. Maksimalna dopuštena vrijednost se mijenja ovisno o tome je li zgrada smještena u primorskoj ili kontinentalnoj Hrvatskoj i o namjeni zgrade. Vrijednosti se također mijenjaju s obzirom na faktor oblika zgrade (f_0), zgrade koje imaju veći faktor mogu trošiti više energije.

Tablica 1 . Najveće dopuštene vrijednosti primarne energije za NZEB grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više [5]

Kategorija zgrade	E_{prim} (kWh/m ² a)	
	Kontinent, $\vartheta_{mm} \leq 3^\circ\text{C}$	Primorje, $\vartheta_{mm} > 3^\circ\text{C}$
Višestambena	80	50
Obiteljska kuća	45	35
Uredska	35	25
Obrazovna	55	55
Bolnica	250	250
Hotel i restoran	90	70
Sportska dvorana	210	150
Trgovina	170	150

Tablica 2. Najveće dopuštene vrijednosti potrebne toplinske energije za NZEB grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više [5]

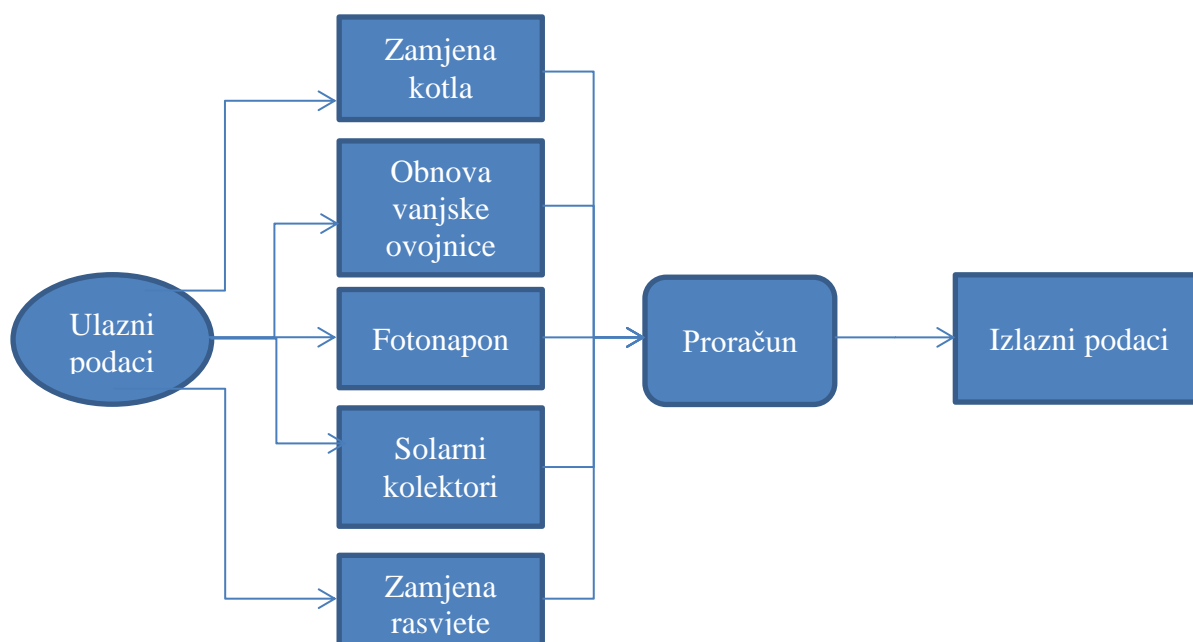
	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² a)]					
Kategorija zgrade	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C		
	$f_o \leq 0,20$	$0,2 < f_o < 1,05$	$f_o \geq 1,05$	$f_o \leq 0,20$	$0,20 < f_o < 1,05$	$f_o \geq 1,05$
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_o$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_o$	45,99
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_o$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_o$	57,50
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_o$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_o$	37,34
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_o$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_o$	31,13
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_o$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_o$	67,60
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_o$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_o$	32,65
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_o$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_o$	58,82
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_o$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_o$	35,08
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_o$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_o$	45,99

3. BAZA MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI REGIONALNE ENERGETSKE AGENCIJE SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

Baza mjera energetske učinkovitosti (BMEU) jest program koji je napravljen u suradnji s REGEA-om, koji će pomoći pri odabiru mjera energetske obnove za određene objekte koji imaju već napravljen energetski certifikat. Kao dodatni uvjet je postavljeno i jednostavno korištenje: korisnik jedino treba upisati ulazne podatke kako bi dobio konačni rezultat.

3.1. Opis Baze mjera–mogućnosti programa

Program Baza mjera je skup od četrnaest listova (*engl. sheet*) u programu Microsoft Excel s više od 20 tablica od kojih su najvažniji „Proračun“ i „Ulazni podaci“. Većina ostalih listova kao što su „Vanjska ovojnica“, „Rasvjeta“, „Fotonapon“ i sl. sadrže osnovne podatke o pojedinim mjerama. Slika 2. prikazuje pojednostavljenu shemu rada BMEU prema kojoj se s ulaznim podacima i nekim konstantama specifično vezanim za pojedinu mjeru ulazi u glavni proračun iz kojeg se dobiju izlazni podaci.



Slika 2. Pojednostavljena shema rada BMEU

Zamišljeno je kako će se BMEU nakon konačnog usavršavanja jednostavno koristiti, bez potrebnog predznanja. Osoba koja želi otkriti koje mjere su pogodne za određeni objekt treba

upisati podatke navedene u list „Ulazni podaci“. Svi potrebni podaci se mogu pronaći u energetsom izvješću. U listu „Proračun“ se mogu vidjeti rezultati proračuna koji među ostalim sadrže: početnu investiciju, uštedu primarne energije i godišnjih troškova te iznos jednostavnog perioda povrata. Program ima mogućnost optimizacije, gdje je funkcija cilja minimalni trošak obnove zgrada ili minimalni period povrata kako bi se postigao status NZEB. Krajnji rezultat uvelike ovisi o točnosti ulaznih podataka osobito onih o radnom vremenu i namjeni objekta.

3.2. Pregled i opis ulaznih podataka

Prvi dio lista „Ulazni podaci“ sadrži osnovne administrativne podatke o pojedinom objektu, njegovu adresu, broj katastarske čestice, ime korisnika i vlasnika zgrade itd. Drugi dio vezan je za geometriju zgrade i sadrži podatke o grijanoj površini i njenom volumenu. Treći dio ulaznih podataka se odnosi na potrošnju i cijene energenata te vode. Navedeni podaci se mogu pribaviti koristeći mjesečne račune pojedinog objekta, a to su:

- Potrebna toplinska energija (kWh/god)
- Jedinična cijena toplinske energije (kn/kWh)
- Potrošnja električne energije (kWh/god)
- Potrošnja električne energije za rasvjetu (kWh/god)
- Trošak električne energije (kn/god)
- Volumen potrošnje vode (m³/god)
- Jedinična cijena vode (kn/m³)

Četvrti dio ulaznih podataka je vezan za pojedine mjere i dostupan je tek nakon provedenog energetskog pregleda. Mogu se podijeliti po vrsti mjera za koje su potrebni:

- Trenutni koeficijent prolaska topline vanjskog zida (W/m²K) – prosjek koeficijenata prolaska topline svih vanjskih zidova
- Površina vanjskog zida (m²)
- Trenutni koeficijent prolaska topline vanjske stolarije (W/m²K) – prosjek koeficijenata prolaska topline vanjske stolarije
- Površina vanjske stolarije (m²)

- Površinski udio navedene stolarije (%) – udio stolarije koja se treba mijenjati (koja ima koeficijent prolaska topline iznad koeficijenta nove stolarije) u ukupnoj stolariji
- Građevni dio krova/stropa predložen za obnovu
- Trenutni koeficijent prolaska topline krova/stropa ($\text{W/m}^2\text{K}$) – prosjek koeficijenata prolaska topline krova/stropa
- Površina krova/stropa (m^2)
- Transmisijski gubitak kroz tlo (W/K)
- Ukupna snaga kotlova (kW)
- Količina pojedinih vrsta sijalica (fluo T8, sijalice sa žarnom niti, halogene...)
- Ukupna snaga pojedinih vrsta sijalica (kW)
- Ostalo

3.3. Pregled i opis izlaznih podataka,

Izlazni podaci prikazuju se u listu „Proračun“ gdje se među ostalim nalaze i sve najvažnije jednačbe korištene za proračun već navedenih mjera. Ovdje se nalaze i mnogi ulazni podaci koji su konstante, neki od njih nisu referencirani već su procijenjeni (npr. gubitak uslijed neučinkovitosti kotla).

Najvažniji izlazni podaci su navedeni u nastavku:

- Ušteda energije (kWh)
- Ušteda primarne energije (kWh)
- Investicija (kn)
- Jedinstveni period povrata (god)
- Smanjenje emisije CO_2 (t/god)

ZAMJENA/UGRADNJA KOTLA

- Potrebna snaga novog kotla (kW)

VANJSKI ZID

- Debljina potrebne toplinske izolacije (cm)
- Transmisijski gubitak zida (W/K)

- Realni gubitak topline kroz zid (kWh) – izračunat prema podacima s računa
- Teoretski gubitak topline kroz zid (kWh)

ZAMJENA VANJSKE STOLARIJE

- Ventilacijski gubitak topline zbog infiltracije (kWh)
- Transmisijski gubici (kWh)
- Ušteda zbog smanjenja gubitaka zbog infiltracije (kWh)
- Ušteda zbog smanjenja transmisijskih gubitaka (kWh)

OBNOVA KROVA/STROPA

- Debljina izolacije (cm)

UGRADNJA FOTONAPONSKIH MODULA

- Količina proizvedene električne energije (kWh)
- Instalirana snaga fotonaponskih panela (kW)

4. METODA PRORAČUNA

U ovom poglavlju bit će prikazani dijelovi proračuna za sve mjere programa BMEU te će biti objašnjena njihova uloga u ukupnom proračunu. Ovaj dio programa čini bazu koja nakon konačnog usavršavanja neće biti podložna većim promjenama. Sve vrijednosti ulaznih podataka, za koje nije drugačije navedeno, dobivene su od REGEA-e.

4.1. Prikaz proračuna za pojedine mjere

Za proračun se koristi veliki broj ulaznih podataka koji se, kako je već navedeno, uglavnom nalaze na računima i energetske certifikatima, ali ima i značajan broj konstanti koje prikazuje Tablica 3.

Tablica 3. Prikaz nekih ulaznih podataka potrebnih za proračun

Koeficijent prolaska topline nakon sanacije vanjskog zida, λ_{vz1}	0,15 W/m ² K - ovu vrijednost je u praksi standardiziranim metodama moguće ostvariti, a predstavlja jednu od najnižih vrijednosti u praksi.
Koeficijent toplinske izolacije zida, U_i	0,035 W/mK - preuzeta je iz baze podataka koju posjeduje REGEA, predstavlja prosječnu vrijednost koja se pronalazi u praksi.
Unutrašnji plošni otpor zida, R_{plu}	0,13 m ² K/W - vrijednost je preuzeta iz baze podataka koju koristi REGEA
Vanjski plošni otpor zida, R_{plv}	0,04 m ² K/W - vrijednost je preuzeta iz baze podataka koju koristi REGEA
Koeficijent prolaska topline nove stolarije, λ_n	1,2 W/m ² K - ova vrijednost predstavlja kvalitetna i u praksi standardizirana rješenja kao što je PVC prozor s pet komora.
Koeficijent prolaska topline nakon sanacije, λ_{nov}	0,01 W/m ² K – vrijednost koja je u praksi jedna od najnižih vrijednosti za taj koeficijent
koeficijent toplinske izolacije stropa/krova, K_{iz}	0,035 W/mK - vrijednost za izolaciju kakvu u praksi koristi REGEA

Unutrašnji plošni otpor krova, R_{plu}	0,1 m ² K/W - ova vrijednost je preuzeta iz baze podataka koju koristi REGEA.
Unutrašnji plošni otpor krova, R_{plv}	0,04 m ² K/W - ova vrijednost je preuzeta iz baze podataka koju koristi REGEA.
omjer potrebne energije za PTV i površine solarnih kolektora, i	351,9[8]
faktor umanjenja zbog viška u ljetnim mjesecima, u	0,8
postotak topline koji se može iskoristiti, z	0,8
početna temperatura vode, t_1	10 °C
temperatura na koju se voda grije, t_2	45 °C
broj radnih sati sijalica, h_s	750 h , procjena iz baze podataka koju koristi REGEA
Svjetlosna iskoristivost žarulje sa žarnom niti, SI_z	17.000 lm/kW [14]
Svjetlosna iskoristivost živinih sijalica, SI_{hg}	40.000 lm/kW [14]
Svjetlosna iskoristivost fluo T8 sijalica, SI_f	90.000 lm/kW [14]
Svjetlosna iskoristivost LED sijalica, SI_{LED}	94.000 lm/kW [14]

4.1.1. Vanjski zid

Ova mjera podrazumijeva dodatno toplinsko izoliranje vanjskih zidova javnih zgrada u svrhu smanjenja potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade.

Za mjeru Vanjski zid koriste se sljedeći ulazni podaci: trenutni koeficijent prolaska topline (W/m²K), površina vanjskog zida (m²), koeficijent prolaska topline nakon sanacije (W/m²K), koeficijent toplinske izolacije zida (W/mK) te unutrašnji i vanjski plošni otpori prijelaza topline (K/W).

Nadalje se računaju sljedeći izlazni podaci preko dolje navedenih jednadžbi:

- **Debljina toplinske izolacije (cm)**

$$l_{zid} = \left(\frac{l}{\lambda_{vz1}} - \frac{l}{\lambda_{vz2}} - R_{plu} - R_{ptv} \right) \cdot U_i \quad (1)$$

Gdje su:

l_{zid} – debljina toplinske izolacije (cm)

λ_{vz1} – koeficijent prolaska topline vanjskog zida prije izolacije (W/m²K)

λ_{vz2} – koeficijent prolaska topline vanjskog zida nakon izolacije (W/m²K)

R_{plu} – Unutarnji plošni otpor prijelaza topline (m²K/W)

R_{ptv} – Vanjski plošni otpor prijelaza topline (m²K/W)

U_i – Koeficijent toplinske izolacije zida (W/mK),

- **Transmisijski gubitak zida (W/K)**

$$G_{tr} = (\lambda_{vz1} + 0, l) \cdot A_{zid} \quad (2)$$

Gdje su:

A_{zid} – površina vanjskog zida (m²)

G_{tr} – transmisijski gubitak zida (W/K)

- **Gubitak topline kroz zid (kWh)**

$$Q_{vz} = \frac{G_{tr}}{G_t} \cdot Q_{potr} \quad (3)$$

Gdje su:

Q_{vz} – Gubitak topline kroz zid (kWh)

G_t – Zbrojeni toplinski gubici u objektu (W/K)

Q_{potr} – Teoretska godišnja potrebna energija (kWh)

- **Teoretski gubitak topline kroz zid (kWh)**

$$Q_{vzt} = G_t \cdot (t_u - t_v) \cdot h \quad (4)$$

Gdje su:

Q_{vzt} – Teoretski gubitak topline kroz zid (kWh)

t_u – predviđena unutrašnja temperatura (°C)

t_v – Prosječna vanjska temperatura u mjesecima u kojima se grije (°C)

h – broj radnih sati godišnje (h)

- **Ušteda energije (kWh)**

$$Q_u = \left(1 - \left(\frac{\lambda_{vz1+0,1}}{\lambda_{vz2+0,1}} \right) \right) \cdot Q_{vzt} \quad (5)$$

Gdje je:

Q_u – ušteda energije (kWh)

- **Ušteda primarne energije (kWh)**

$$Q_{pu} = f_{pr} \cdot Q_u \quad (6)$$

Gdje su:

f_{pr} – faktor primarne energije

Q_{pu} – Ušteda primarne energije (kWh)

- **Ušteda (kn)**

$$U = c_{e,s} \cdot Q_u \quad (7)$$

Gdje su:

U – ušteda (kn)

$c_{e,s}$ – Cijena energenta za grijanje (kn/kWh)

- **Investicija (kn)**

$$Inv = A \cdot c_i \quad (8)$$

Gdje su:

Inv – investicija (kn)

A – površina izolacije

c_i – prosječna cijena izolacije (350 kn/m²)

- **Jedinstveni period povrata (god)**

$$JPP = \frac{Inv}{U} \quad (9)$$

- **Smanjenje emisije CO₂ (kg/god)**

$$e_{co2} = e_e \cdot Q_{pu} \quad (10)$$

Gdje je:

e_{co2} – godišnje smanjenje emisije CO₂ (kg/god)

e_e – koeficijent emisije CO₂ energenta za grijanje (kg/kWh)

4.1.2. Vanjska stolarija

Ova mjera podrazumijeva zamjenu vanjskih prozora i vrata s novom stolarijom. Za mjeru Vanjska stolarija koriste se sljedeći ulazni podaci: trenutni koeficijent prolaska topline (W/m²K), površina vanjske stolarije (m²), koeficijent prolaska topline nakon sanacije (W/m²K)

Nadalje se računaju sljedeći izlazni podaci preko ispod navedenih jednadžbi:

- **Ventilacijski gubitak – infiltracija (W/K)**

$$G_{inf} = \frac{V_{gr} \cdot \rho \cdot C_p \cdot n}{3600} \quad (11)$$

Gdje su:

G_{inf} – ventilacijski gubitak zbog infiltracije (W/K)

V_{gr} – volumen grijanog zraka

ρ – gustoća zraka (kg/m³)

C_p – Specifični toplinski kapacitet zraka (J/kgK)

n – broj izmjena zbog infiltracije u satu (h⁻¹)

- **Ventilacijski gubitak energije – infiltracija (kWh)**

$$Q_{inf} = \frac{G_{inf}}{G_{uk}} \cdot E_{potr, topl} \cdot A_{st} \quad (12)$$

Gdje su:

Q_{inf} – ventilacijski gubitak energije zbog infiltracije (kWh)

G_{uk} – ukupni toplinski gubici zgrade (W/K)

$E_{potr, topl}$ – ukupno potrebna toplinska energija (kWh)

A_{st} – površina stolarije (m²)

- **Transmisijski gubici (W/K)**

$$G_{trans} = \lambda_s \cdot A_{st} \quad (13)$$

Gdje je:

G_{trans} – transmisijski gubici (W/K)

λ_s – Trenutni koeficijent prolaska topline vanjske stolarije (W/m²K)

- **Transmisijski gubici energije (kWh)**

$$Q_{trans} = \frac{G_{trans}}{G_{uk}} \cdot E_{potr} \cdot A_{st} \quad (14)$$

- **Ušteda energije zbog smanjenja infiltracije (kWh)**

$$Q_{uinf} = \left(1 - \frac{n}{np}\right) \cdot Q_{inf} \quad (15)$$

Gdje su:

Q_{uinf} – ušteda energije zbog smanjenja infiltracije (kWh)

n – broj izmjena zraka zbog infiltracije prije zamjene stolarije (h^{-1})

n_p – broj izmjena zbog infiltracije u satu nakon zamjene stolarije (h^{-1})

- **Ušteda energije zbog smanjenja transmisije (kWh)**

$$Q_{utrans} = \left(1 - \frac{\lambda_n}{\lambda_s}\right) \cdot Q_{trans} \quad (16)$$

Gdje je:

Q_{utrans} – ušteda energije zbog smanjenja transmisije (kWh)

λ_n – Novi koeficijent prolaska topline vanjske stolarije (W/m^2K)

- **Ukupna ušteda energije (kWh)**

$$Q_{uk} = Q_{uinf} + Q_{utrans} \quad (17)$$

Ušteda primarne energije, financijska ušteda, investicija, JPP i smanjenje emisije CO_2 računaju se kao za vanjski zid.

4.1.3. Krov/strop

Ova mjera podrazumijeva dodatnu izolaciju krovišta i/ili izolaciju stropa (poda potkrovlja). Za mjeru Krov/strop koriste se sljedeći ulazni podaci: trenutni koeficijent prolaska topline (W/m^2K), površina krova/stropa (m^2), koeficijent prolaska topline nakon sanacije (W/m^2K) te

koeficijent toplinske izolacije stropa/krova (W/mK). Također među ulazne podatke spadaju unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline (m²K/W)

Nadalje se računaju sljedeći podaci preko dolje navedenih jednadžbi:

- **Debljina izolacije (cm)**

$$l_{krov} = \left(\frac{1}{\lambda_{nov}} - \frac{1}{\lambda_{st}} - R_{plu} - R_{plv} \right) \cdot K_{iz} \quad (18)$$

Gdje su:

l_{krov} – debljina izolacije krova (cm)

λ_{nov} – novi koeficijent prolaska topline (W/m²K)

λ_{st} – stari koeficijent prolaska topline (W/m²K)

R_{plu} – unutarnji plošni otpor prijelaza topline (m²K/W)

R_{plv} – vanjski plošni otpor prijelaza topline (m²K/W)

K_{iz} – koeficijent toplinske izolacije stropa/krova (W/mK)

- **Transmisijski gubici (W/K)**

$$G_{trans} = (\lambda_{st} + 0,1) \cdot A_{kr} \quad (19)$$

Gdje je:

A_{kr} – površina krova/stropa (m²)

- **Transmisijski gubici topline (kWh)**

$$Q_{trans} = \frac{G_{trans}}{G_{uk}} \cdot E_{potr} \quad (20)$$

Gdje je:

G_{uk} – ukupni gubici zgrade

4.1.4. Zamjena kotla za grijanje

Mjera zamjene kotla ima opciju izbora novog kotla između:

- Kotla na pelete (do 200 kW snage)
- Kotla na drvenu sječku (od 200 kW snage)

Za navedenu mjeru kao ulazni podatak koristi se potrebna toplinska energija nakon sanacije vanjske ovojnice (kWh) i broj radnih sati kotla godišnje (h)

Nadalje se računaju sljedeći podaci preko ispod navedenih jednadžbi:

- **Potrebna snaga kotla (kW)**

$$P_{kot} = \frac{Q_{gr,pot}}{h_k} \quad (21)$$

Gdje su:

P_{kot} – potrebna snaga kotla (kW)

$Q_{gr,pot}$ – potrebna toplinska energija nakon sanacije (kWh)

h_k – broj radnih sati kotla godišnje (h)

Za stvarnu snagu kotla se uzima snaga prvog većeg kotla iz podataka koje je prosljedila REGEA-a. Nakon izračuna potrebne snage kotla kreće se u odabir vrste kotla te se time izabire i novi energent (drvena sječka ili peleti)

- **Ušteda primarne energije (kWh)**

$$Q_{p,u} = Q_{gr,pot} \cdot (F_{pr,st} - F_{pr,nov}) \quad (22)$$

Gdje su:

$F_{pr,st}$ – faktor primarne energije starog energenta

$F_{pr,nov}$ – faktor primarne energije novog energenta

- **Ušteda (kn)**

$$U = Q_{gr,pot} \cdot (c_{e,s} - c_{e,n}) \quad (23)$$

Gdje su:

$c_{e,s}$ – cijena starog energenta (kn/kWh)

$c_{e,n}$ – cijena novog energenta (kn/kWh)

Investicija kotla se ne računa, već se iz podataka uzima cijena prvog kotla veće snage od izračunate.

Smanjenje emisije CO₂ i JPP računaju se kao u prethodnim primjerima.

4.1.5. Zamjena rasvjete (sijalica)

Za mjeru Zamjena rasvjete koriste se sljedeći ulazni podaci: broj sijalica koje će se mijenjati (živine sijalice, sijalice sa žarnom niti i fluo T8 sijalice), njihova snaga (kW), broj radnih sati sijalica, svjetlosna iskoristivost navedenih sijalica te svjetlosna iskoristivost pojedinih sijalica.

- **Stara potrošnja električne energije (kWh)**

$$E_{potr} = P_z \cdot h_s \quad (24)$$

Gdje su:

P_z – snaga zastarjele rasvjete (kW)

h_s – broj radnih sati sijalica (h)

- **Potrebni svjetlosni tok za osvjjetljenje prostorija (lm)**

$$Lm = Z \cdot SI_z + Hg \cdot SI_{hg} + F \cdot SI_f \quad (25)$$

Gdje su:

Lm – potrebni svjetlosni tok (lm)

Z – snaga postojećih sijalica sa žarnom niti (kW)

SI_z – svjetlosna iskoristivost sijalica sa žarnom niti (lm/kW)

Hg – snaga postojećih živinih sijalica (kW)

SI_{hg} – svjetlosna iskoristivost živinih sijalica (lm/kW)

F – snaga postojećih fluo T8 sijalica (kW)

SI_f – svjetlosna iskoristivost fluo T8 sijalica (lm/kW)

- **Potrebna snaga nove LED rasvjete (kW)**

$$P_{LED} = \frac{Lm}{SI_{LED}} \quad (26)$$

Gdje su:

P_{LED} – potrebna snaga nove LED rasvjete (kW)

SI_{LED} – svjetlosna iskoristivost LED rasvjete (lm/kW)

- **Nova potrošnja električne energije (kW)**

$$E_{potr,n} = P_{LED} \cdot h \cdot s \quad (27)$$

- **Investicija (kn)**

$$Inv = P_{LED} \cdot C_{LED} \quad (28)$$

Gdje je:

C_{LED} – Cijena led rasvjete (kn/kW)

4.1.6. Štedni perlatori

Ova mjera podrazumijeva ugradnju štednih perlatora na slavine, a rezultat neće biti energetska već isključivo financijska ušteda, samim time ova mjera ne utječe na postizanje NZEB kriterija.

- **Investicija (kn)**

$$Inv = Sl \cdot c_s \quad (29)$$

Gdje su:

Sl – broj slavina (kom)

c_s – cijena perlatora (kn/kom)

- **Ušteda (kn)**

$$U = K \cdot P_{sl} \cdot U_p \cdot c_v \quad (30)$$

Gdje su:

K – količina vode (m³/god)

P_{sl} – postotak vode koji se koristi na slavinama (%)

U_p – prosječna ušteda vode zbog korištenja perlatora (%)

c_v – cijena vode (kn/m³)

4.1.7. Ugradnja fotonaponskog sustava

Fotonaponski moduli se mogu postaviti na cijelu korisnu površinu krova, ali je upitna njihova isplativost. Iz tog je razloga ova mjera podijeljena na dvije. Prva podrazumijeva postavljanje fotonaponskih modula na cijelu raspoloživu površinu krova, a druga postavljanje toliko modula koliko je potrebno kako bi se približno zadovoljile potrebe za električnom energijom zgrade. U tom slučaju će proizvodnja i potrošnja električne energije u jednoj godini biti približno jednaka, ali će ipak, ovisno o periodu povećane potrošnje ili povećane proizvodnje, biti viška ili manjka električne energije. Nakon provedenog proračuna, provjerava se za koju od navedenih opcija je kraći JPP te se s tom opcijom ide u daljnji proračun. U oba slučaja sav višak električne energije se prodaje u mrežu.

Za mjeru Ugradnje fotonaponskog sustava koriste se sljedeći ulazni podaci: korisna površina krova (m²), omjer instalirane snage i površine krova (kWp/m²) koji iznosi 0,111 kWp/m² [7],

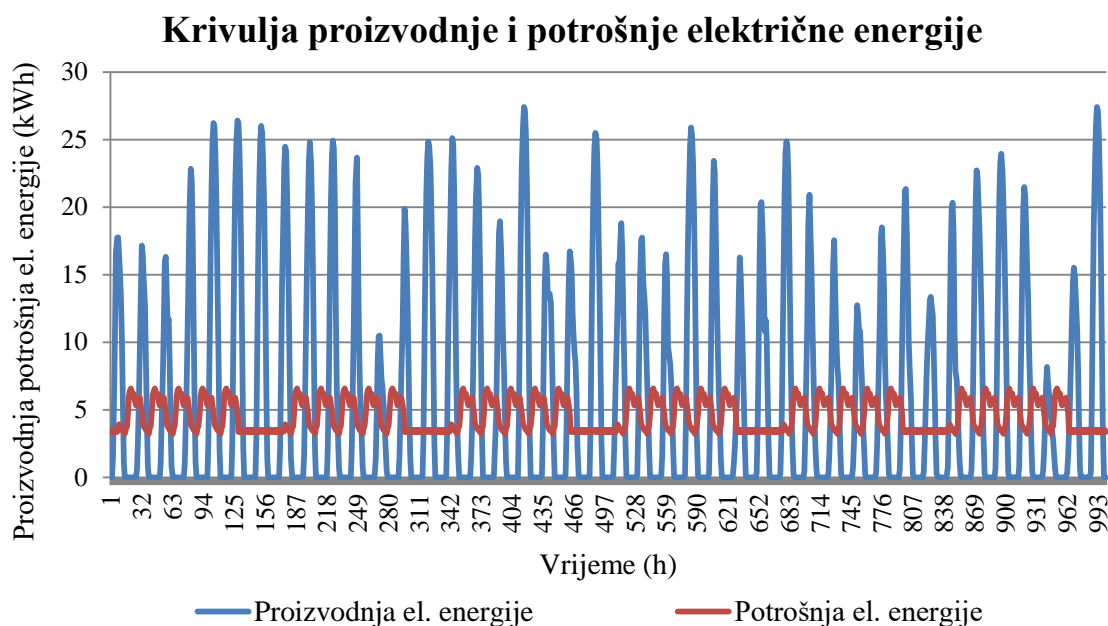
godišnja proizvodnja struje po 1 kW instalirane snage (kWh), krivulje proizvodnje i potrošnje električne energije, prodajna i kupovna cijena električne enrgije (kn/kWh) te ukupna potrošnja električne energije (kWh). Slika 3. prikazuje mjesečnu proizvodnju električne energije iz 1 kWp fotonaponskih modula (E_m) za područje Zagrebačke županije te se koristeći tim vrijednostima procjenjuje satna krivulja godišnje proizvodnje električne energije iz instaliranih fotonaponskih modula. Uz to se u tablici nalaze prosječna dnevna proizvodnja (E_d), prosječno sunčevo zračenje na vodoravnu površinu (H_d) i naklonjenu površinu (H_m).

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.39	43.0	1.70	52.6
Feb	2.35	65.8	2.87	80.3
Mar	3.36	104	4.30	133
Apr	3.96	119	5.20	156
May	4.26	132	5.71	177
Jun	4.39	132	5.99	180
Jul	4.53	140	6.23	193
Aug	4.33	134	5.98	185
Sep	3.52	105	4.69	141
Oct	2.71	83.9	3.48	108
Nov	1.52	45.6	1.87	56.2
Dec	1.12	34.8	1.35	41.9
Yearly average	3.12	95.0	4.12	125
Total for year		1140		1500

Slika 3. Prikaz mjesečne proizvodnje struje iz 1 kWp instaliranih fotonaponskih modula u Zagrebačkoj županiji [6]

4.1.7.1. Izračun faktora prodaje i faktora kupnje električne energije

Faktor prodaje električne energije jest faktor s kojim se množi količina potrebne električne energije kako bi se dobila količina koja će se prodati u sustav u pojedinim trenucima kada je proizvodnja veća od potrošnje. On služi isključivo kako bi se izračunala novčana ušteda u godini dana i ne utječu na proračun uštede energije. Razlike u proizvodnji i potrošnji prikazuje Slika 4.



Slika 4. Prikaz krivulja proizvodnje i potrošnje za period od 25.3.2014. 04:00 do 5.5.2014. 21:00 na primjeru OŠ Slakva Kolara (instalirana snaga 34,7 kW)

Od krivulje proizvodnje električne energije oduzeta je krivulja potrošnje te su se zbrojile sve pozitivne razlike, a zbroj se podijelio s ukupnom potrošnjom električne energije, taj rezultat predstavlja faktor prodaje električne energije.

$$f_p = \frac{\sum_{t=1}^{1860} P_r(t) - P_o(t)}{E_{potr}}; \text{ za } P_r(t) > P_o(t) \quad (31)$$

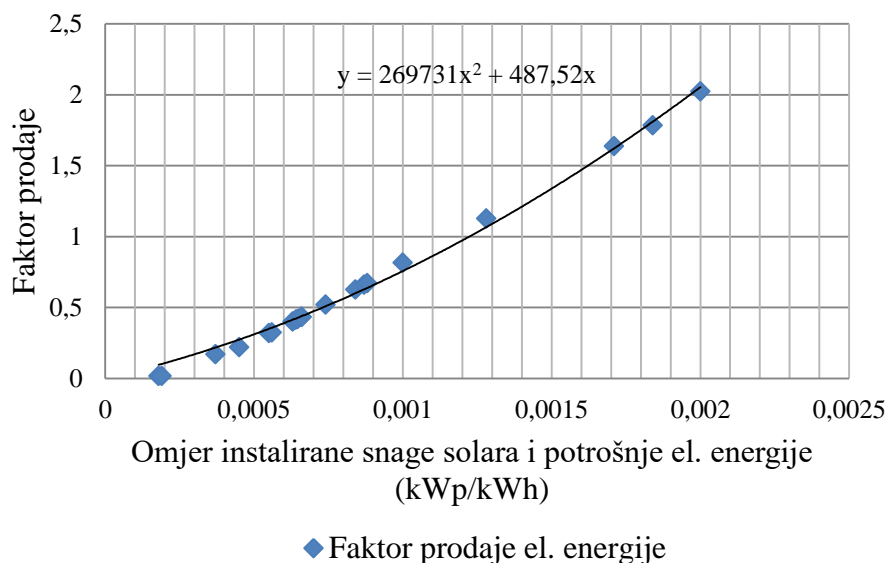
Gdje su:

$P_r(t)$ – proizvodnja električne energije (kWh)

$P_o(t)$ – potrošnja električne energije (kWh)

Ovaj faktor je izračunat za dvadeset različitih zgrada te je pomoću njih i omjera instalirane snage fotonapona i potrošnje električne energije za svaku pojedinu zgradu aproksimirana funkcija (Slika 5.). Prema njoj se za svaku pojedinu zgradu računa faktor prodaje električne energije, koristeći se podacima o instaliranoj snazi fotonaponskih modula (P_{in}) i potrošnji električne energije u jednoj godini (E_{potr}).

Faktor prodaje električne energije



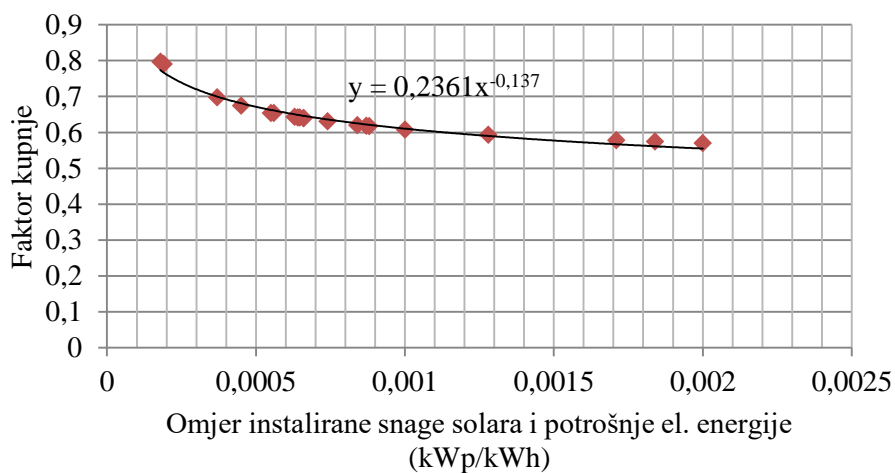
Slika 5. Aproximirana krivulja faktora kupnje električne energije

Faktor kupnje električne energije jest faktor s kojim se množi količina potrebne energije kako bi se dobila vrijednost električne energije koja će se kupiti u pojedinim trenucima kada je proizvodnja energije manja od potrošnje.

$$f_p = \frac{\sum_{t=1}^{1860} P_o(t) - P_r(t)}{E_{potr}}, \text{ za } P_o(t) > P_r(t) \quad (32)$$

Od krivulje potrošnje električne energije oduzeta je krivulja proizvodnje te su se zbrojile sve pozitivne razlike, a zbroj se podijelio s ukupnom potrošnjom električne energije, taj rezultat predstavlja faktor kupnje električne energije. On je također je izračunat za dvadeset različitih zgrada te je pomoću njih i omjera instalirane snage fotonaponskih modula i potrošnje električne energije za svaku pojedinu zgradu napravljena krivulja (Slika 6.). Prema njoj se za svaku pojedinu zgradu može izračunati faktor kupnje električne energije koristeći podatke o instaliranoj snagzi fotonaponskih modula (P_{in}) i potrošnji električne enrgije u jednoj godini (E_{potr}). Slika 6. prikazuje krivulju faktora kupnje koja je aproksimirana na navedenu jednadžbu.

Faktor kupnje električne energije



◆ Faktor kupnje el. energije

Slika 6. Aproximirana krivulja faktora kupnje električne energije

4.1.7.2. Opcija postavljanja fotonaponskih modula na cijeli krov

- **Instalirana snaga (kWp)**

$$P_{in} = A_{kr} \cdot x \quad (33)$$

Gdje su:

P_{in} – instalirana snaga fotonaponskih modula (kW)

A_{kr} – korisna površina krova (m^2)

x – Omjer instalirane snage i površine krova (kWp/m^2)

- **Proizvedena električna energija (kWh)**

$$E_{el} = P_{in} \cdot ps \quad (34)$$

Gdje je:

E_{el} – količina dobivene električne energije (kWh)

ps – godišnja proizvodnja struje iz 1 kWp instaliranog fotonapona

- **Prihod uslijed prodaje električne energije (kn)**

$$Z = f_p \cdot E_{potr} \cdot c \quad (35)$$

Gdje su:

Z – zarada od prodaje električne energije (kn)

f_p – faktor prodaje električne energije

E_{potr} – godišnja potrebna električne energija (kWh)

c – jedinična cijena za otkup električne energije (kn/kWh)

- **Trošak uslijed kupnje električne energije (kn)**

$$T = f_k \cdot E_{potr} \cdot c_l \quad (36)$$

Gdje su:

T – trošak kupnje električne enrgije (kn)

f_k – faktor kupnje električne energije

c_l – jedinična cijena električne energije (kn/kWh)

- **Ušteda električne energije (kWh)**

Uštedom se smatra sva proizvedena električna energija koja se iskoristila u zgradi, odnosno električna energija koja bi se otkupila iz mreže da nije proizvedena iz fotonaponskih modula.

4.1.7.3. Opcija postavljanja fotonapona na dio krova kako bi se približno zadovoljile potrebe

- **Potrebna instalirana snaga (kWp)**

$$P_{potr} = \frac{E_{potr}}{ps} \quad (37)$$

Stvarna instalirana snaga može biti manja, ovisno o raspoloživoj površini krova. U slučaju da je raspoloživa površina krova manja od potrebne, računa se maksimalna moguća instalirana snaga te se proračun nastavlja s tom brojkom.

Zarada od prodane električne energije i trošak uslijed kupnje električne energije se računa kao u prvoj opciji.

4.1.8. Ugradnja solarnih kolektora

Pod mjerom Solari podrazumijeva se postavljanje kompletnog solarnog sustava za proizvodnju potrošne tople vode. Ova mjera se ne provodi za obrazovne ustanove zato što imaju osjetno smanjenu potrošnju u periodu kad je proizvodnja najveća, tj. ljeti. Također se ne provodi za ustanove koje nemaju centralni sustav pripreme tople vode (CSPTV) jer bi takve ustanove osim ugradnje solarnih kolektora trebale provesti i ugradnju cijevi za toplu vodu što se u praksi ne isplati.

Za mjeru ugradnje solarnih kolektora koriste se sljedeći ulazni podaci: količina potrebne tople vode (m^3), početna temperatura vode, temperatura na koju se voda grije, specifični toplinski kapacitet vode (kJ/kgK), gustoća vode (kg/m^3), omjer potrebne energije za PTV i površine solarnih kolektora kWh/m^2 , faktor umanjenja zbog viška u ljetnim mjesecima te postotak topline koji se može iskoristiti .

- **Potrebna energija za grijanje vode (kWh)**

$$Q_{potr,w} = PTV \cdot (t_2 - t_1) \cdot c_w \cdot \rho_w \quad (38)$$

Gdje su:

$Q_{potr,w}$ – potrebna energija za grijanje vode (kWh)

PTV – količina potrebne tople vode (m^3)

t_2 – temperatura na koju se voda grije ($^{\circ}C$)

t_1 – početna temperatura vode ($^{\circ}C$)

c_w – specifični toplinski kapacitet vode ($kJ/(kg \cdot K)$)

ρ_w – gustoća vode (kg/m^3)

- **Potrebna površina solarnih kolektora (m^2)**

$$A_{sol} = Q_{potr,w} / (i \cdot u \cdot y) \quad (39)$$

Gdje su:

A_{sol} – potrebna površina solarnih kolektora (m^2)

i – omjer potrebne energije za PTV i površine solarnih kolektora (kWh/m^2)

u – faktor umanjenja zbog viška u ljetnim mjesecima

y – omjer površine solarnih kolektora i korisne površine

- **Ušteda energije (kWh)**

$$E_u = A_{sol} \cdot G_p \cdot z \quad (40)$$

Gdje su:

G_p – godišnja ušteda po površini kWh/m^2

z – postotak topline koji se može iskoristiti

5. PRIKAZ CIJENA ZA POJEDINE MJERE ENERGETSKE OBNOVE

Kako bi izračun isplativosti i investicije obnove zgrada odgovarao stvarnim primjerima, potrebno je napraviti troškovnik pojedinih mjera obnove. U nastavku će biti prikazane cijene potrebne za izračun JPP-a i investicije za pojedine mjere. Sve cijene su bez PDV-a. Cijene su, osim ako nije naglašeno drugačije, preuzete iz baze koju posjeduje REGEA.

Tablica 4. prikazuje cijene energenata za grijanje koji se sada koriste ili će se koristiti u slučaju kada se mjere provedu [9], [10].

Tablica 4. Cijene energenata

Energent	Cijena (kn/kWh)
Drvena sječka	0,13
Peleti	0,38
Prirodni plin	0,41
Ekstra lako lož ulje	0,5-0,6
Električna energija	0,9-1,4

Tablica 5. prikazuje cijene obnove krovišta ovisno o vrsti krova i stropa.

Tablica 5. Cijena obnove krova/stropa

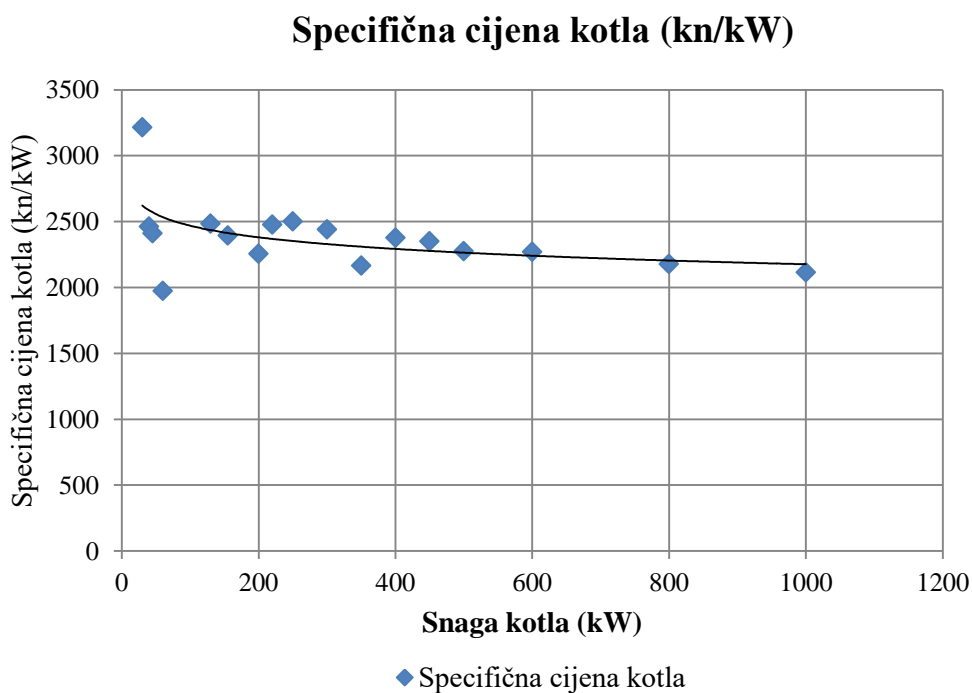
Mjera obnove	Cijena (kn/m²)
Kosi krov	250
Kosi krov i pokrov	500
Pod potkrovlja	110
Pod potkrovlja i pokrov	360
Ravni krov	460

Tablica 6. prikazuje cijenu toplinske izolacije vanjskog zida po jedinici površine za prosječnu debljinu izolacije (15 cm). i cijenu zamjene stare stolarije novom, uz koeficijent prolaska topline od $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 6. Cijena obnove vanjskog zida i zamjene vanjske stolarije

Cijena obnove fasade pločama od mineralne vune (debljine 15 cm)	360 kn/m ²
Cijena zamjene vanjske stolarije ($1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$)	1200 kn

Slika 7. prikazuje specifične cijene kotlova na biomasu koji se mogu koristiti kao zamjena za stare kotlove. Cijena uključuje nabavu i ugradnju, spremnik goriva, ispitivanja i ateste, stručni nadzor i tehničku dokumentaciju



Slika 7. Specifične cijene kotla na biomasu kao funkcija snage

Tablica 7. prikazuje prosječnu cijenu LED sijalica kakve bi se ugrađivale u javne zgrade putem mjere zamjene sijalica., cijenu štednih perlatora, cijenu ugradnje solarnih kolektora (uključujući cijevi, spremnik topline i ostalu osnovnu opremu) te prosječnu cijenu fotonaponskog sustava koja uključuje svu potrebnu opremu i instalaciju.

Tablica 7. Cijena zamjene sijalica, ugradnje štednih perlatora, ugradnje solarnih kolektora i fotonaponskog sustava

Cijena sijalice	6 kn/W
Cijena štednog perlatora	60 kn/kom
Prosječna cijena solarnih kolektora koja uključuje postavljanje kompletnog sustava sa spremnikom topline	3.200kn/m ²
Prosječna cijena fotonaponskog sustava koja uključuje osnovnu opremu, instalaciju i spajanje na mrežu.	10.000kn/kW

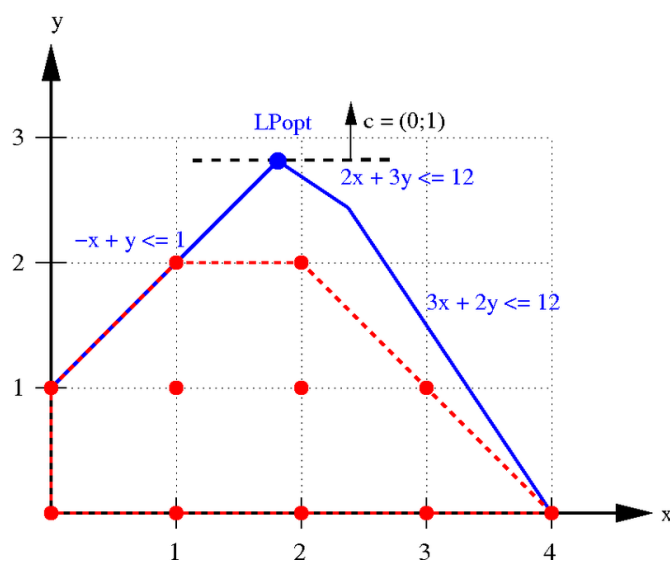
6. IZRAČUN I OPTIMIZACIJA POSTIZANJA KATEGORIJE ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE ZA ZAGREBAČKU ŽUPANIJU

Cilj optimizacije je pronaći skup mjera kojima će se uz najmanju investiciju ili najmanji JPP postići kriterij NZEB. Za navedenu optimizaciju može se koristiti alat Microsoft Excela pod nazivom SOLVER. Na temelju zadane funkcije cilja i rubnih uvjeta, optimizira se iznos određenih parametara. Funkciju cilja predstavlja ukupna investicija ili JPP uz uvjet da ukupna potrošnja primarne energije po jedinici površine određenog objekta bude manja nego što je to uvjet za NZEB po zakonu RH. Svi optimizirani parametri su binarne varijable (postižu vrijednost 0 ili 1), tj. rješenje optimizacije je odluka treba li se određena mjera implementirati ili ne.

Vrlo je bitno ovdje napomenuti kako je program „Baza mjera“ rađen za REGEA-u te je cilj programa pronaći mjere energetske obnove primjerene za određenu zgradu koje se u praksi koriste, koje su smislene i na neki način kratkoročno isplative. Zbog takvih uvjeta, obnova pojedinih zgrada do razine NZEB nije moguća jer bi sadržavala kratkoročno neisplative mjere obnove kao što je na primjer obnova vanjske ovojnice izolacijom debljine veće od 30 cm i sl.

6.1. Cjelobrojna linearna optimizacija

Cjelobrojna linearna optimizacija jest postupak kojim se može dobiti optimalni rezultat (npr. najveća zarada ili najmanja potrošnja) pomoću cjelobrojnih varijabli. U ovoj vrsti programiranja varijable su 0 i 1 odnosno za naš slučaj odabir između DA (ta mjera se izvodi) i NE (ta mjera se ne izvodi) [11]. Slika 8. grafički prikazuje metodu cjelobrojnog linearnog programiranja



Slika 8. Grafički prikaz cjelobrojne linearne optimizacije [10]

6.2. SOLVER

Solver je alat koji pomoću cjelobrojne linearne optimizacije može postići minimalnu vrijednost neke ćelije mijenjajući vrijednosti drugih ćelija. U ovom primjeru funkcija cilja je minimalna investicija ili JPP, a optimizacijske varijable su mjere (za svaku mjeru varijabla je DA ili NE) uz rubni uvjet - potrošnja primarne i toplinske energije mora biti manja od norme. Za pronalaženje minimuma, koristi se linearna optimizacija, a optimizacijske varijable mogu biti samo cijeli brojevi (0 ili 1). Takva optimizacija jedan je od nedostataka ovog programa, ona neće prikazati koliko kvalitetno neku mjeru treba napraviti (npr. treba li 10 ili 20 cm izolacije vanjske ovojnice) već govori samo treba li neku mjeru koja je već troškovno optimizirana napraviti ili ne.

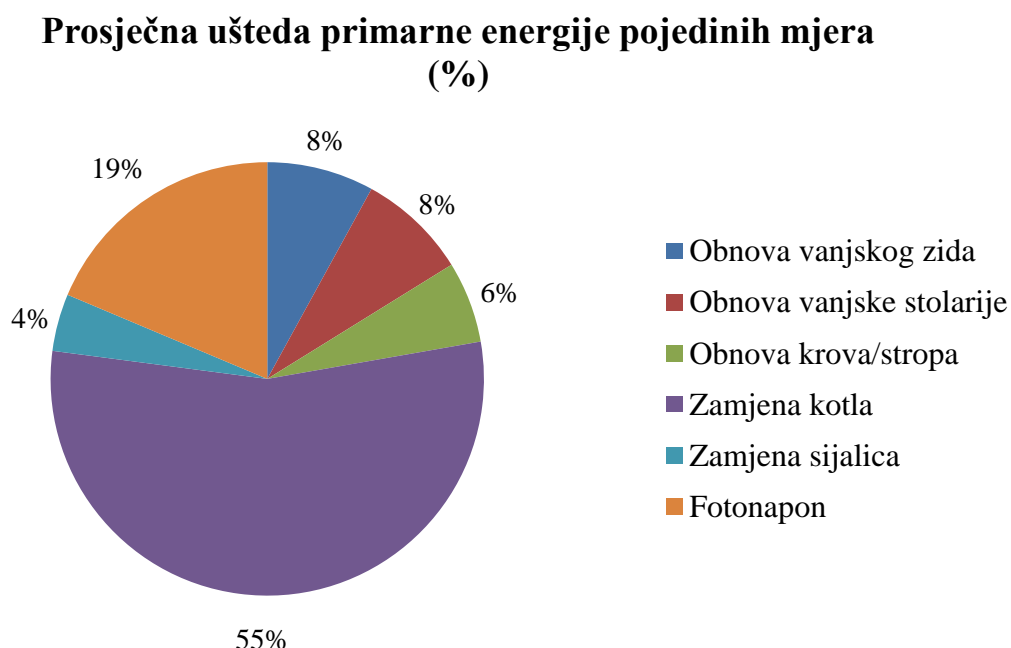
7. VALIDACIJA MODELA NA PRIMJERU JAVNIH ZGRADA ZAGREBAČKE ŽUPANIJE

7.1. Rezultati mjera obnove za zgrade javnog sektora Zagrebačke županije

Nakon što se u proračun uvrste teoretske vrijednosti trenutne potrošnje toplinske i primarne energije te podaci vezani za konstrukciju zgrade, koji se pronalaze u energetske izvješćima i certifikatima, dobit će se podaci o uštedi primarne energije pojedine mjere, JPP-u, investiciji, godišnjoj uštedi toplinske energije pa samim time i novčanoj uštedi.

U sljedećim tablicama i slikama bit će prikazani neki od tih rezultata za zgrade javnog sektora Zagrebačke Županije.

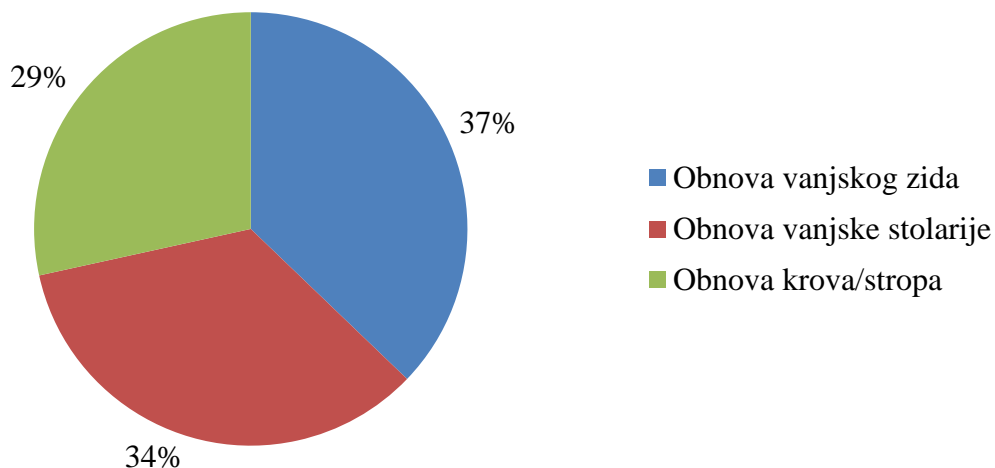
Preko 50% smanjenja potrošnje primarne energije čini ušteta zbog ugradnje novog kotla što znači da je ta mjera nezaobilazna kada želimo smanjiti potrošnju primarne energije neke zgrade, Slika 9.



Slika 9. Prikaz udjela prosječne uštede primarne energije pojedinih mjera u ukupnoj uštedi za dvadeset zgrada

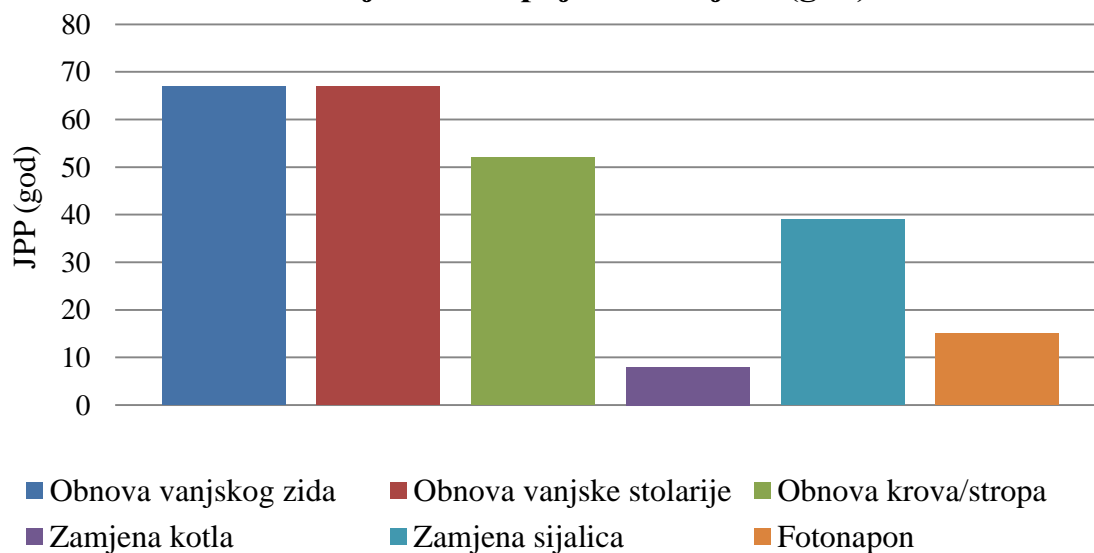
Sve tri mjere koje utječu na smanjenje potrebne toplinske energije djeluju gotovo podjednako, što prikazuje Slika 10., a ako se u obzir uzme JPP koji prikazuje Slika 11. zaključak je da je najbolje napraviti mjeru zamjene krova/stropa.

Prosječna ušteda potrebne toplinske energije pojedinih mjera (%)



Slika 10. Prikaz udjela prosječne uštede potrebne toplinske energije pojedinih mjera u ukupnoj uštedi za dvadeset zgrada

Prosječni JPP pojedinih mjera (god)



Slika 11. Prikaz prosječnog JPP-a pojedinih mjera

Tablica 8. Prikaz predloženih mjera za pojedinu zgradu

Naziv ustanove	DZ Velika Gorica	OŠ Rugvica	OŠ Vladimir Nazor	SŠ Velika Gorica	SŠ B.J.Jelačić	OŠ Slavka Kolara	SŠ Dra. Stražimir	DD Mala Gorica	DV Slavuj	OŠ Bedenica	OŠ Braće Radić	OŠ Dubrava	OŠ Đure Deželića	OŠ Gradec	OŠ I.B. Mažuranić	OŠ Ivan Benković	OŠ Josip Badalić	OŠ K.A. Stepinca	OŠ Klinča sela	OŠ Luka
Vanjski zid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vanjska stolarija	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Krov	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zamjena kotla	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zamjena rasvjete	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Solarni kolektori	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fotonaponski sustav	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

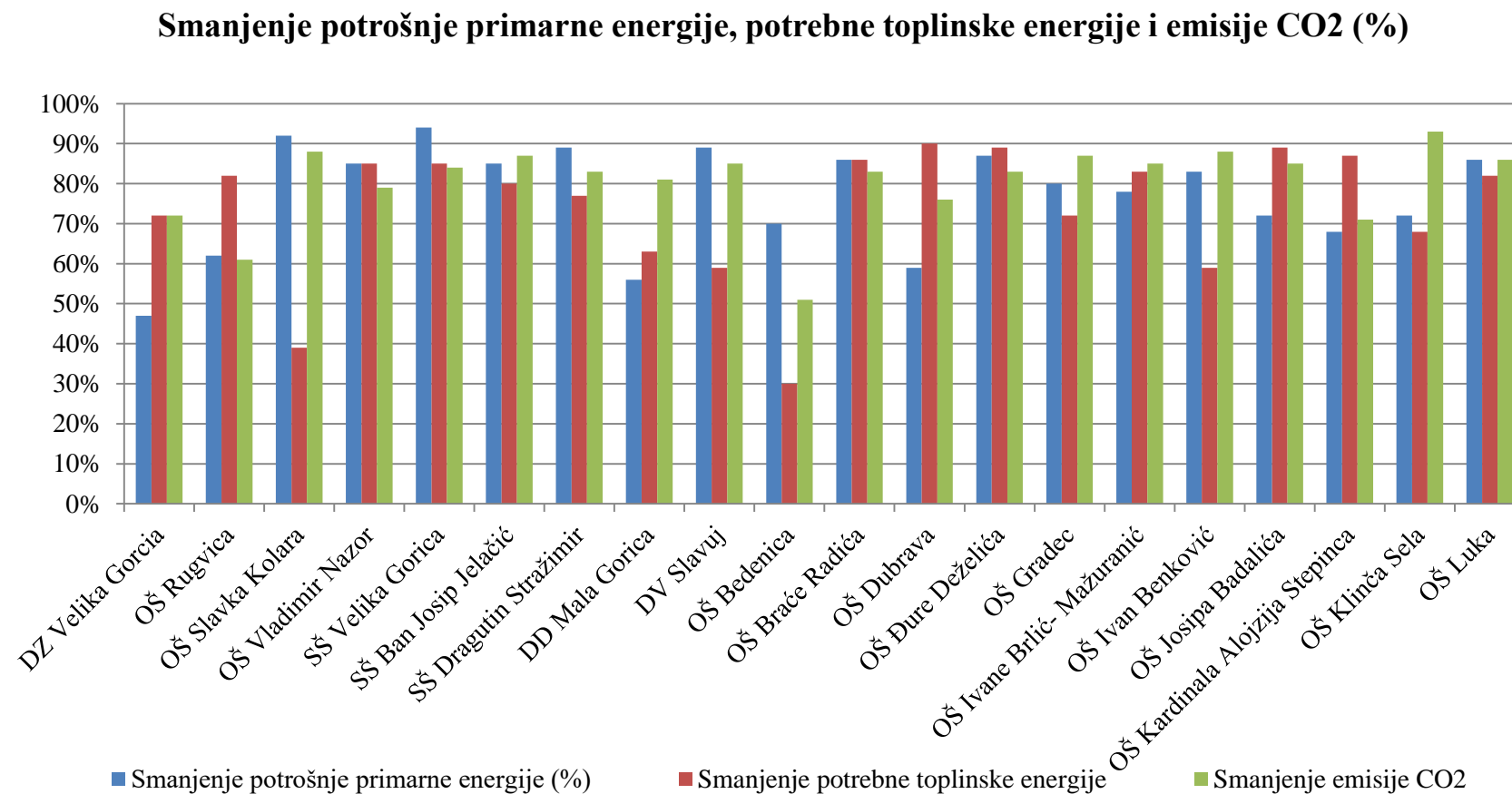
Tablica 8. prikazuje mjere koje se prema optimizaciji trebaju provesti za navedene zgrade. Budući kako se pomoću navedenih mjera samo dvije zgrade mogu dovesti do kriterija NZEB samo se one i uspjevaju optimizirati, optimizacija ostalih zgrada ne uspijeva te se za njih predlažu sve navedene mjere. Odlučeno je da se solarni kolektori ne postavljaju na obrazovne ustanove zato što imaju osjetno smanjenu potrošnju u periodu kad je proizvodnja najveća, tj. ljeti. Također se ne provodi za ustanove koje nemaju centralni sustav pripreme tople vode (CSPTV) jer bi takve ustanove osim ugradnje solarnih kolektora trebale provesti i ugradnju cijevi za toplu vodu što se u praksi ne isplati. Mogu li i koji od dva kriterija za NZEB će zadovoljiti ove zgrade prikazuje Tablica 9. Uz to se može primjetiti kako će se potrošnja primarne energije za većinu zgrada značajno smanjiti te će kriterij biti zadovoljen, ali potreba za toplinskom energijom smanjuje se u manjem postotku i taj kriterij zadovoljavaju samo 2 zgrade koje su detaljno obrađene u nastavku.

Tablica 9. Predviđeno smanjenje potrošnje primarne energije i potrebne toplinske energije i granične vrijednosti istih

Naziv ustanove	Konačna/dopuštena potrošnja primarne energije (kWh/m ²)	Zadovoljen kriterij potrošnje prim. energije	Konačna/dopuštena potrebna toplinska energija (kWh/m ²)	Zadovoljen kriterij potrebne toplinske energije	Zadovoljen kriterij NZEB
DZ Velika Gorica	271,7/250	NE	90,39/43,75	NE	NE
OŠ Rugvica	59,3/55	NE	80,84/17,25	NE	NE
OŠ Slavka Kolara	12,1/55	DA	28,85/29,83	DA	DA
OŠ V. Nazor	31,6/55	DA	77,64/17,66	NE	NE
SŠ Velika Gorica	15,1/55	DA	82,34/15,63	NE	NE

SŠ B.J. Jelačić	25,9/55	DA	69,68/17,66	NE	NE
SŠ Dragutin Stražimir	20,1/55	DA	56,74/27,4	NE	NE
DD Mala Gorica	95,7/35	NE	133,55/62	NE	NE
DV Slavuj	12,1/55	DA	52,58/31,5	NE	NE
OŠ Bedenica	46,2/55	DA	39,96/42	DA	DA
OŠ Braće Radić	26,9/55	DA	132,11/23,75	NE	NE
OŠ Dubrava	82,2/55	NE	146,42/17,25	NE	NE
OŠ Đure Deželića	27,3/55	DA	150,44/22,53	NE	NE
OŠ Gradec	27,4/55	DA	80,25/22,93	NE	NE
OŠ I.B. Mažuranić	45,0/55	DA	112,02/20,9	NE	NE
OŠ Ivan Benković	24,2/55	DA	60,51/25,77	NE	NE
OŠ Josip Badalić	61,5/55	NE	194,44/23,33	NE	NE
OŠ K. Alojzija Stepinca	17,5/55	DA	181,76/29,83	NE	NE
OŠ Klinča sela	44,8/55	DA	68,61/33,89	NE	NE
OŠ Luka	31,0/55	DA	91,67/32,68	NE	NE

Slika 12. prikazuje rezultate mjera za promatrane zgrade. Vidljivo je kako se znatno smanjuje potrošnja primarne energije (45%-95%), potrebna toplinska energija (30%-90%) te emisija CO₂ (50%-95%)



Slika 12. Predviđeni rezultati provedenih mjera

7.1. Postizanje zgrade gotovo nulte energije

Na primjeru dvije zgrade Zagrebačke županije pokazat će se moguće troškovno-optimalno rješenje za postizanje zgrade gotovo nulte energije. Biti će prikazano stanje prije i poslije obnove zgrada, nekoliko osnovnih podataka o zgradi te maksimalne dopuštene vrijednosti za te zgrade

Osnovna škola Slavka Kolara



Slika 13. OŠ Slavka Kolara [12]

Prema optimizaciji pri kojoj se traži minimalni JPP dobiju se isti rezultati kao i prema optimizaciji pri kojoj se traži minimalna investicija, a predložene mjere su:

- Obnova vanjskog zida
- Obnova vanjske stolarije
- Obnova krova/stropa
- Zamjena kotla
- Ugradnja fotonaponskog sustava

Navedenim mjerama za ovu zgradu moći će se postići kriteriji NZEB te će ujedno imati manji JPP i manju investiciju nego druge kombinacije kojima bi se postiglo isto. Ovaj rezultat pokazatelj je kako troškovno optimiziranje funkcionira.

Tablica 10. pokazuje kako se pomoću navedenih mjera može postići ušteda primarne energije u iznosu od 281.441 kWh godišnje te ušteda toplinske energije u iznosu od 42.520 kWh godišnje.

Tablica 10. Rezultati provedenih mjera za OŠ Slavka Kolara

Trenutna potrošnja primarne energije (kWh/god)	307.535
Potrošnja primarne energije nakon provedenih mjera (kWh/god)	26.094
Specifična potrošnja primarne energije nakon provedenih mjera (kWh/m ² ·god)	12,1
Maksimalna dopuštena specifična potrošnja primarne energije (kWh/m ² ·god)	55
Trenutna potrošnja toplinske energije (kWh/god)	104.717
Potrošnja toplinske energije nakon provedenih mjera (kWh/god)	62.197
Specifična potrošnja toplinske energije nakon provedenih mjera (kWh/m ² ·god)	28,85
Maksimalna dopuštena specifična potrošnja toplinske energije (kWh/m ² ·god)	29,83
Jednostavni period povrata (god)	12

Osnovna škola Bedenica



Slika 14. OŠ Bedenica [13]

Prema optimizaciji pri kojoj se traži minimalni JPP dobiju se isti rezultati kao i prema optimizaciji pri kojoj se traži minimalna investicija, a predložene mjere su:

- Obnova vanjskog zida
- Obnova vanjske stolarije
- Obnova krova/stropa
- Zamjena kotla
- Zamjena sijalica

Navedenim mjerama za ovu zgradu moći će se postići kriteriji NZEB te će ujedno imati manji JPP i manju investiciju nego druge kombinacije kojima bi se postiglo isto. Ovaj rezultat pokazatelj je da troškovno-optimiziranje funkcionira.

Tablica 11. pokazuje da se pomoću navedenih mjera može se postići ušteda primarne energije u iznosu od 41.171 kWh godišnje te ušteda toplinske energije u iznosu od 7.816 kWh godišnje.

Tablica 11. Rezultati provedenih mjera za OŠ Bedenica

Trenutna potrošnja primarne energije (kWh/god)	59.135
Potrošnja primarne energije nakon provedenih mjera (kWh/god)	17.964
Specifična potrošnja primarne energije nakon provedenih mjera (kWh/m ² ·god)	46,2
Maksimalna dopuštena specifična potrošnja primarne energije (kWh/m ² ·god)	55
Trenutna potrošnja toplinske energije (kWh/god)	23.360
Potrošnja toplinske energije nakon provedenih mjera (kWh/god)	15.544
Specifična potrošnja toplinske energije nakon provedenih mjera (kWh/m ² ·god)	39,96
Maksimalna dopuštena specifična potrošnja toplinske energije (kWh/m ² ·god)	42
Jednostavni period povrata (god)	68

7.1.1. Postizanje kriterija zgrade gotovo nulte energije neisplativim mjerama

Kao što je već navedeno svaka zgrada bi se mogla obnoviti kako bi se dosegao NZEB kriterij, ali budući se u ovom radu koriste u praksi standardizirane mjere pokazalo se kako neke zgrade ne mogu dostići tako nizak stupanj potrošnje energije. Vidljivo je da se većina navedenih zgrada ne može pretvoriti u NZEB pomoću navedenih mjera koje su odabrane u suradnji s REGEA-om, a koje predstavljaju mjere koje se danas u praksi zaista koriste. Jasno je kako se pomoću pretjerane izolacije vanjske ovojnice i podova te sličnih mjera mogu dodatno smanjiti gubici topline i na taj način postići NZEB, ali pitanje je kolika je isplativost takvih mjera i koliki bi u tom slučaju bio period povrata.

8. ZAKLJUČAK

Zbog potrebe za alatom koji će omogućiti brzi izračun potrebnih mjera energetske učinkovitosti, u suradnji s REGEA-om napravljen je program Baza mjera energetske učinkovitosti (BMEU). Jednostavnim upisivanjem ulaznih podataka koji se nalaze na energetskim certifikatima i izvješćima u kratkom roku može se doći do velikog broja rezultata kao što su ušteda energije, smanjenje potrošnje primarne energije, smanjenje emisije CO₂, jednostavni period povrata i sl. Putem ovog programa neke se mjere mogu predložiti za detaljnu provjeru isplativosti, dok se neke mogu eliminirati. Ipak, pomoću BMEU ne mogu se točno odrediti rezultati odabranih mjera, stoga je nakon procjene potrebno napraviti detaljnu analizu za mjere koje su se optimizacijom pokazale isplativima. Određivanje troškovno-optimalnih mjera vrši se putem alata SOLVER koji se koristi cjelobrojnomo linearnom optimizacijom, tj. mijenjajući binarne varijable DA, odnosno mjera se izvodi ili NE, mjera se ne izvodi dolazi do optimalnog rješenja.

Na primjeru dvije zgrade prikazana je mogućnost optimalnog odabira mjera i postizanje kriterija NZEB. U OŠ Slavka Kolara provedbom mjera smanjila bi se potrošnja primarne energije za 91% te potrošnja toplinske energije za 40%, uz period povrata od 12 godina. U OŠ Bedenica bi se provedbom mjera smanjila potrošnja primarne energije za 70 % te potrošnja toplinske energije za 34%, uz period povrata od 68 godina.

Zaključno se može reći kako je metodama isplativim u praksi vrlo teško postići kriterij zgrade gotovo nulte energije, već bi se trebale provoditi mjere koje se u praksi ne pokazuju isplativima.

ZAHVALA

Ovaj rad je izrađen u suradnji s Regionalnom energetsom agencijom sjeverozapadne Hrvatske (REGEA)

Ovaj rad je izrađen u sklopu projekta RESFlex financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost (pod šifrom 3300).

LITERATURA

- [1] Enerpedia, Finalna potrošnja i energetska efikasnost, web poveznica http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTRO%C5%A0NJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST, zadnji pristup 22.9.2017.
- [2] Ciljevi energetske politike EU i energetska efikasnost u Europskoj uniji, prof.dr.sc. Željko Tomšić, web poveznica: https://www.fer.unizg.hr/download/repository/MAPE_3_2014_Skripta_EU2014_.pdf, zadnji pristup 22.9.2017.
- [3] Definiranje zgrada gotovo nulte energije, Izdavač - Passive House Institute, web poveznica: https://passreg.eu/download.php?cms=1&file=Zagreb2015_PassREgBrosura.pdf, zadnji pristup 22.9.2017.
- [4] Direktiva 2012/27/eu Europskog parlamenta i vijeća, web poveznica: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>, zadnji pristup 22.9.2017.
- [5] Tehnički propisi o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, web poveznica: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf>, zadnji pristup 22.9.2017.
- [6] Photovoltaic Geographical Information System, web poveznica: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, zadnji pristup 22.9.2017.
- [7] Fotonaponski sustavi, Ljubomir Majdandžić, web poveznica: http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf, zadnji pristup 22.9.2017.
- [8] Diplomski rad - Tehno-ekonomska analiza implementacije centraliziranog sustava grijanja na biomasu na primjeru grada Ogulina, Hrvoje Dorotić, web poveznica: repozitorij.fsb.hr/6197/1/Dorotić_2016_diplomski.pdf, zadnji pristup 22.9.2017.
- [9] Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj – Toplinska izolacija vanjskog zida, web poveznica: <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/toplinska-izolacija-vanjskog-zida>, zadnji pristup 22.9.2017.

- [10] Emajstor, web poveznica:
https://www.emajstor.hr/clanak/24/cijena_fasade_koliko_me_kosta, zadnji pristup 22.9.2017.
- [11] Wikipedia, Integer programming, web poveznica:
https://en.wikipedia.org/wiki/Integer_programming, zadnji pristup 22.9.2017.
- [12] Osnovna škola Slavka Kolara, web poveznica: <http://os-skolara-kravarsko.skole.hr/skola>, zadnji pristup 22.9.2017.
- [13] Osnovna škola Bedenica, web poveznica: <http://os-bedenica.skole.hr/>, zadnji pristup 22.9.2017.
- [14] Diplomski rad - Modeliranje i analiza javne rasvjete programom Relux, Mia Šibila, web poveznica: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A1197>, zadnji pristup 22.9.2017.

PRILOZI

I. CD-R disc